

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-111401

(43)公開日 平成9年(1997)4月28日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
C 22 C 38/00	301		C 22 C 38/00	301M
C 21 D 8/00		9270-4K	C 21 D 8/00	A
C 22 C 38/32			C 22 C 38/32	
38/54			38/54	
38/58			38/58	

審査請求 未請求 請求項の数8 OL (全8頁)

(21)出願番号 特願平7-268657

(22)出願日 平成7年(1995)10月17日

(71)出願人 000001258

川崎製鉄株式会社

兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28
号

(72)発明者 松崎 明博

千葉県千葉市中央区川崎町1番地 川崎製
鉄株式会社技術研究所内

(72)発明者 河崎 充実

千葉県千葉市中央区川崎町1番地 川崎製
鉄株式会社技術研究所内

(74)代理人 弁理士 小林 英一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】自動車用部材に用いられ、高周波焼入れ焼もどし後のねじり強度が1400MPa以上を有し、かつ被削性、耐焼割れ性の優れた機械構造用鋼材およびその製造方法を提供する。

【解決手段】mass%で、C:0.35~0.60%、Si:0.05%以下、Mn:0.65%以上1.70%以下、Mo:0.05%~0.50%、B:0.0005%以上0.0050%以下を添加し、かつベイナイト相を5~30%含む組織とすることにより被削性および耐焼割れ性を改善する。さらに、Ms=538-317(%C)-33(%Mn)-28(%Cr)-17(%Ni)-11(%Si)-1(%Mo)で定義されるMs値が360以上とすることにより耐焼割れ性がさらに優れた鋼材となる。

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなり、かつベイナイト相を面積率で5~30%含む組織からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材。

【請求項2】 mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなり、下記式で定義されるMs値が36.0以上で、かつベイナイト相を面積率で5~30%含む組織からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材

記

$$Ms = 538 - 317(\% C) - 33(\% Mn) - 28(\% Cr) - 17(\% N) - 11(\% Si) - 11(\% Mo)$$

【請求項3】 mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、さらにCu : 1.0%以下、Ni : 3.5%以下、V : 0.01%以上0.30%以下、Nb : 0.005 %以上0.050 %以下のうちから選んだ1種又は2種以上を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなり、かつベイナイト相を面積率で5~30%含む組織からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材。

【請求項4】 mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、さらにCu : 1.0%以下、Ni : 3.5%以下、V : 0.01%以上0.30%以下、Nb : 0.005 %以上0.050 %以下のうちから選んだ1種又は2種以上を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなり、下記式で定義されるMs値が36.0以上で、かつベイナイト相を面積率で5~30%含む組織からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材。

記

$$Ms = 538 - 317(\% C) - 33(\% Mn) - 28(\% Cr) - 17(\% N) - 11(\% Si) - 11(\% Mo)$$

2

i) -11(%Si) -11(%Mo)

【請求項5】 mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなる鋼素材を熱間圧延および/または熱間鍛造により所定の形状に熱間加工し、熱間加工終了後あるいは中間処理加熱後0.2~2°C/secの冷却速度で冷却することにより、ベイナイト相を面積率で5~30%含む組織とすることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材の製造方法。

【請求項6】 mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび

20 不可避的不純物からなり、かつ下記式で定義されるMs値が36.0以上である鋼素材を熱間圧延および/または熱間鍛造により所定の形状に熱間加工し、熱間加工終了後あるいは中間処理加熱後0.2~2°C/secの冷却速度で冷却することにより、ベイナイト相を面積率で5~30%含む組織とすることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材の製造方法。

記

$$Ms = 538 - 317(\% C) - 33(\% Mn) - 28(\% Cr) - 17(\% N) - 11(\% Si) - 11(\% Mo)$$

30 【請求項7】 前記鋼素材が、mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、さらにCu : 1.0%以下、Ni : 3.5%以下、V : 0.01%以上0.30%以下、Nb : 0.005 %以上0.050 %以下のうちから選んだ1種又は2種以上を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなる鋼素材であることを特徴とする請求項5記載の被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材の製造方法。

40 【請求項8】 前記鋼素材が、mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、さらにCu : 1.0%以下、Ni : 3.5%以下、V : 0.01%以上0.30%以下、Nb : 0.005 %以上0.050 %以下のうちから選んだ1種又は2種以上を含有し、残部Feおよび

3

不可避的不純物からなり、下記式で定義されるMs値が360以上となる鋼素材であることを特徴とする請求項6記載の被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材の製造方法。

記

$$Ms = 538 - 317(\%C) - 33(\%Mn) - 28(\%Cr) - 17(\%Ni) - 11(\%Si) - 11(\%Mo)$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼に関し、特に高周波焼入れ焼もどし後のねじり強度が1400MPa以上を有し、自動車用ドライブシャフト、等速ジョイント等に適用して好適な機械構造用鋼材およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、自動車用ドライブシャフトや等速ジョイント等の機械構造用部材は、熱間圧延棒鋼に熱間鍛造、あるいはさらに焼きならし処理を施し、切削、冷間鍛造等により所定の形状に加工したのち、高周波焼入れ焼もどしを行い、機械構造用部材としての重要な特性であるねじり強度を確保しているのが一般的である。

【0003】他方、近年環境問題から自動車部材に対して部品の軽量化の要求が強く、この点から自動車用部材のねじり強度の上昇が要求されている。ねじり強度を上昇させるためには、高周波焼入れによる焼入れ硬化深さの増加が考えられている。しかし、焼入れ硬化深さを増加させるためには、高周波焼入れ条件の変更あるいは鋼材の合金元素量を増加させることが考えられるが、いずれも経済的に問題がある。

【0004】特開平4-218641号公報には、自動車用部材のねじり強度と被削性、耐焼割れ性を同時に満足できるように合金元素量を限定する技術が提案されている。しかしながら、化学組成のみの限定では被削性、耐焼割れ性とねじり強度を同時に満足する化学組成の範囲は狭く、また品質レベルも問題を残していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、自動車用部材に用いられ、高周波焼入れ焼もどし後のねじり強度が1400MPa以上を有し、かつ被削性、耐焼割れ性を満足する機械構造用鋼材およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記課題を解決するため鋭意検討した結果、高周波焼入れ焼もどし後の芯部（非硬化部）の強度を上げることが、ねじり強度を上昇させることに極めて有利である点に着目した。従来、鋼においては熱間圧延あるいは鍛造又は焼ならし後の組織は、フェライト+パーライトであった。そこで、本発明者らは、芯部の強度を増加させるために芯部の組織をフェライト+ベイナイトあるいはフェライト

4

+パーライト+ベイナイトとすることに思い至った。一方、被削性は一般に硬さの他にミクロ組織が影響することは知られていたが、本発明者らはベイナイト相をわずかに含ませることにより、被削性が顕著に向ふすることを新規に見い出し、本発明を構成したのである。

【0007】すなわち、本発明の第1の発明は、mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上

10 0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなり、かつベイナイト相を面積率で5～30%含む組織からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。

【0008】また、本発明の第2の発明は、第1の発明に加えて、Ms = 538 - 317(%C) - 33(%Mn) - 28(%Cr) - 17(%Ni) - 11(%Si) - 11(%Mo) で定義されるMs値が360以上であることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。また、本発明の第3の発明は、mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、さらにCu : 1.0 %以下、Ni : 3.5 %以下、V : 0.01%以上0.30%以下、Nb : 0.005 %以上0.050 %以下のうちから選んだ1種又は2種以上を含有し、残部Feおよび不可避的不純物

20 からなり、かつベイナイト相を面積率で5～30%含む組織からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。

【0009】また、本発明の第4の発明は、第3の発明に加えて、Ms = 538 - 317(%C) - 33(%Mn) - 28(%Cr) - 17(%Ni) - 11(%Si) - 11(%Mo) で定義されるMs値が360以上であることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。また、本発明の第5の発明は、mass%でC : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。

30 【0010】また、本発明の第6の発明は、前記鋼素材からなる、かつベイナイト相を面積率で5～30%含む組織からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。

【0011】また、本発明の第7の発明は、第6の発明に加えて、Ms = 538 - 317(%C) - 33(%Mn) - 28(%Cr) - 17(%Ni) - 11(%Si) - 11(%Mo) で定義されるMs値が360以上であることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。また、本発明の第8の発明は、mass%でC : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。

40 【0012】また、本発明の第9の発明は、第8の発明に加えて、Ms = 538 - 317(%C) - 33(%Mn) - 28(%Cr) - 17(%Ni) - 11(%Si) - 11(%Mo) で定義されるMs値が360以上であることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。また、本発明の第10の発明は、mass%でC : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材である。

50 【0013】また、本発明の第11の発明は、前記鋼素材

5

が、mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなり、Ms = 538 - 317(%C) - 33(%Mn) - 28(%Cr) - 17(%Ni) - 11(%Si) - 11(%Mo) で定義される Ms 値が360以上であることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼の製造方法である。

【0011】また、本発明の第7の発明は、第5発明における前記鋼素材が、mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、さらにCu : 1.0 %以下、Ni : 3.5 %以下、V : 0.01%以上0.30%以下、Nb : 0.005 %以上0.050 %以下のうちから選んだ1種又は2種以上を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなる鋼素材であることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼材の製造方法である。

【0012】また、本発明の第8の発明は、第6発明における前記鋼素材が、mass%で、C : 0.35%以上0.60%以下、Si : 0.05%以下、Mn : 0.65%以上1.70%以下、P : 0.020 %以下、S : 0.005 %以上0.035 %以下、Cr : 0.15%以下、Mo : 0.05%以上0.50%以下、Ti : 0.01%以上0.05%以下、Al : 0.01%以上0.05%以下、N : 0.01%以下、B : 0.0005%以上0.0050%以下を含有し、さらにCu : 1.0 %以下、Ni : 3.5 %以下、V : 0.01%以上0.30%以下、Nb : 0.005 %以上0.050 %以下のうちから選んだ1種又は2種以上を含有し、残部Feおよび不可避的不純物からなり、Ms = 538 - 317(%C) - 33(%Mn) - 28(%Cr) - 17(%Ni) - 11(%Si) - 11(%Mo) で定義される Ms 値が360以上であることを特徴とする被削性および耐焼割れ性に優れた機械構造用鋼の製造方法である。

【0013】

【発明の実施の形態】本発明鋼材は、高周波焼入れ焼もどし後のねじり強度が1400MPa 以上で、被削性として工具寿命が2000mm以上、焼割れ発生率が従来鋼と同等以上の特性を有するものである。以下、本発明について詳しく述べる。まず、組成の限定理由について説明する。

【0014】C : 0.35%以上0.60%以下

Cは高周波焼入れ性への影響が最も大きい元素であり、焼入れ硬化層の硬さおよび深さを高めて、ねじり強度を高周波焼入れ焼もどし後に1400MPa 以上を確保するのに有用である。その効果を得るためにには少なくとも0.35%以上必要である。しかし、0.60%超えて添加すると被削

6

性が低下し、耐焼割れ性も低下する。したがってC量は0.35%以上0.60%以下とする。

【0015】Si : 0.05%以下

Siはフェライトに固溶し、強化する元素であり、本発明ではフェライトを軟化させ被削性を向上させるため可能な限り低減する。フェライトの軟化のために許容できる上限は0.05%であり、Siは0.05%以下とする。Siを低減することによりフェライト相は軟化し被削性が向上する。特に、第2相のベイナイト相による被削性向上効果は、第1相のフェライト相が十分に軟質な時にその効果が発揮される。

【0016】Mn : 0.65%以上1.70%以下

Mnは焼入れ性の向上に有用な元素であり、同時に鋼中のSを固定して熱間脆性を防止する元素である。その効果を得るためにには少なくとも0.65%以上必要だが、1.70%を超えて添加すると、パーライト分率が増加し被削性が低下する。したがってMn量は0.65%以上1.70%以下とする。好ましくは0.65～1.3%である。

【0017】P : 0.020%以下

Pは焼入れ時のオーステナイト粒界に偏析して焼割れ性を助長する。したがってその含有量は極力低下させるべきであり、上限は0.020 %とする。

S : 0.005%以上0.035%以下

Sは鋼中でMnS を形成し被削性を向上させる。そのためには0.005 %以上が必要である。一方、MnS は亀裂の起点となりやすく、強度、韌性の低下を招くため、Sの上限は0.035%とする。

【0018】Cr : 0.15%以下

Crは、パーライトの層状化を促進し、被削性を低下させる有害な元素である。また、Crは高周波焼入れ前の加熱時にセメントタイト中に濃縮しこれを安定化させる。そのため、高周波焼入れ前の加熱で、オーステナイトに固溶しない残留炭化物を形成し、これが疲労亀裂、とくにねじり疲労亀裂の起点となり疲労強度を低下させる。したがって、その含有量は極力低下させるべきであるが、0.15%まで許容できる。Cr含有量は0.15%以下を上限としたが、好ましくは0.05%以下の範囲とする。

【0019】Mo : 0.05%以上0.50%以下

Moは焼入れ性向上に有用であるばかりでなく、ベイナイトの生成を促進し被削性を向上させる。そのためには0.05%以上必要である。一方、過剰な添加は硬質なベイナイトが多量に生成し被削性を低下させるので、上限は0.50%とする。被削性の点からは、0.05～0.25%が好適である。

【0020】Ti : 0.01%以上0.05%以下

TiはNと結合し窒化物を形成し、高温加熱時のオーステナイト粒を微細化したり、焼入れ性向上に有用な固溶Bを確保するのに必要である。そのためには0.01%以上必要である。一方、過剰に添加すると、韌性を阻害するため上限は0.05%とする。N含有量との関係で通常の溶製

7

法であれば、Tiは0.01~0.03%が好適である。

【0021】Al : 0.01%以上0.05%以下

Alは強力な脱酸元素であり、鋼中のO低減のために必要である。このためには、0.01%以上が必要であるが、0.05%を超えると巨大なアルミナを形成するようになり、これが疲労破壊の起点となることにより疲労強度を低下させるので、0.05%以下とする。

【0022】N : 0.01%以下

NはAlあるいはTiと結合し窒化物を形成し、高周波加熱時のオーステナイト粒径を細粒化することにより疲労強度を向上させるのに有用である。しかし0.01%を超えると粗大な窒化物を形成し疲労強度を低下させる。過剰なNは、BNを形成し焼入れ性に有効なフリーB量を低下させる。したがって上限は0.01%とした。オーステナイト粒細粒化のためには、0.0040~0.0080%が好適である。

【0023】B : 0.0005%以上0.0050%以下

Bは、焼入れ性を高め高周波焼入れ時の焼入れ深さを高めることによりねじり強度を高める。そのためには0.0005%以上の添加が必要であるが、0.0050%を超えると韌性を低下させるため上限は0.0050%とする。

Cu : 1.0%以下

Cuは焼入れ性向上および被削性向上に有用な元素である。しかし1.0%を超えて添加すると熱間脆性を引き起こすため、Cu含有量は1.0%を上限とする。なお、好ましい含有量は0.4~1.0%である。

【0024】Ni : 3.5%以下

Niは焼入れ性を増加し強度向上に寄与する有用な元素である。しかし3.5%を超えて添加すると被削性を低下させるので、Niの含有量は3.5%以下とする。なお、好ましい含有量は0.5~2.0%である。

V : 0.01%以上0.30%以下

Vは炭窒化物を形成し、オーステナイト粒を微細化させて強度向上に寄与する。そのためには0.01%以上が必要である。一方、過剰に添加すると粗大な析出物を形成し韌性を阻害するため上限は0.30%とする。

【0025】Nb : 0.005%以上0.050%以下

Nbは炭窒化物を形成し、オーステナイト粒を微細化させて疲労強度向上に寄与する。そのためには0.005%以上が必要である。一方、過剰に添加すると粗大な析出物を形成し韌性を阻害するため上限は0.050%とする。また、Ms値を360以上とする。

【0026】Ms値は、Ms = 538 - 317(%C) - 33(%Mn) - 28(%Cr) - 17(%Ni) - 11(%Si) - 11(%Mo)で定義される。なお、()内は、各元素の含有量(mass%)を意味する。本発明者らは、耐焼割れ性について鋭意検討した結果、耐焼割れ性は、材料のMs値(マルテンサイト変態開始温度)に依存するという知見を得た。本発明の鋼種においては、Ms = 360以上であれば耐焼割れ性が著しく向上するため、限界値とした。

【0027】次に、組織の限定について説明する。組織

8

中のベイナイト相の比率は、面積率で5~30%とする。本発明では熱間圧延あるいは鍛造後または焼ならし後の組織をベイナイト+フェライト、フェライト+パーライト+ベイナイトとする。ベイナイト相の存在により被削性が飛躍的に増大する。この理由について、本発明者らは次のように考えている。切削時の切屑は剪断において発生したボイドの拡大、連結により母材から分離して形成される。そして、ボイドの発生はフェライト・パーライト鋼においては、フェライトとパーライトの界面や、パーライト中のフェライトとセメンタイトとの界面で起こる。しかしながら、パーライト地中のセメンタイトはラメラー状に規則的に配列しており、切削時のボイド発生サイトとしての効果が小さい。これに対して、ベイナイト相では炭化物が不揃いになっており、炭化物とフェライト相の界面が切削時のボイド発生サイトとして最も有效地に作用する。これにより、鋼中にベイナイト相が存在する場合には被削性が飛躍的に向上するのである。被削性を向上させるためには、ベイナイト相は5%以上の存在が必要である。しかし30%を超えると硬さの上昇が大きく、被削性はかえって低下する。したがって、ベイナイト相の比率は面積率で5~30%の範囲とする。

【0028】本発明鋼材の溶製方法は、常法にしたがって製造すればよく特に限定しない。溶製方法は、転炉あるいは電気炉で溶製し、RH脱ガス等の真空脱ガス、取鍋での精錬などを付加してもよい。溶鋼は連続鍛造法あるいは造塊法で凝固させ、凝固させた後、熱間圧延あるいは熱間・温間鍛造を経て所定形状の素材とする。これら素材は、必要により焼ならし、球状化焼鈍、軟化焼鈍などの中間熱処理を施され、切削、鍛造、転造などの冷間加工により所望の形状に仕上げられる。

【0029】本発明では、熱間圧延あるいは熱間鍛造後または焼ならし等のオーステナイト化後の冷却は、鋼材の組織を所定のベイナイト含有量とするため、0.2°C/sec~2°C/sec範囲の冷却速度とすることが好ましい。特に太径の棒鋼では冷却を調整した加速冷却を行うのが好適である。この冷却条件の範囲を下回ると、ベイナイト相の形成が少なく、またこれら冷却速度より速いと硬化相が出現し被削性が低下する。

【0030】また、最終の高周波焼入れ焼もどしは、15kHzの高周波焼入装置を用い、出力120kWで0.2~1secの加熱を施したのち焼入れし、170°C×1hrの焼もどしを行ったときのねじり強さを標準として評価した。

【0031】

【実施例】

(実施例1) 表1に示す化学組成の鋼を、転炉で溶製し、連続鍛造により400×540mmのブルームにした後、熱間圧延により150mm角ビレットとした。このビレットを1030°Cに加熱後、熱間圧延により25mmの直棒とした。圧延後、空冷(0.7°C/min)した。冷却後の直棒の組織中ベイナイト相の比率を表2に示す。ベイナイト

相の比率から、光学顕微鏡により該鋼材のミクロ組織を
撮影し、この写真から画像解析装置によりベイナイト相
の面積率を測定した。この直棒を用いて、下記に示す試*
【表1】

* 験を実施し、その結果を表2に示す。
【0032】

鋼 No	化 学 组 成 (mass%)														備 考	
	C	S i	M n	P	S	C r	M o	A l	T i	N	B	C u	N i	V	N b	
1	0.40	0.03	1.00	0.010	0.025	0.04	0.10	0.02	0.02	0.0062	0.0015	—	—	—	—	本発明例
2	0.39	0.04	1.05	0.009	0.018	0.02	0.13	0.02	0.02	0.0062	0.0021	—	0.65	—	—	本発明例
3	0.42	0.01	0.89	0.009	0.019	0.02	0.09	0.02	0.02	0.0042	0.0016	—	—	0.20	—	本発明例
4	0.42	0.02	0.95	0.008	0.022	0.03	0.12	0.02	0.02	0.0052	0.0023	0.25	—	—	0.015	本発明例
5	0.50	0.01	0.95	0.010	0.021	0.02	0.08	0.02	0.02	0.0042	0.0022	—	—	0.20	—	本発明例
6	0.50	0.03	1.04	0.011	0.026	0.04	0.10	0.02	0.02	0.0048	0.0018	—	—	—	—	本発明例
7	0.44	0.03	1.30	0.012	0.025	0.04	0.15	0.02	0.02	0.0048	0.0020	—	—	—	—	本発明例
8	0.41	0.02	1.15	0.011	0.023	0.03	0.40	0.02	0.02	0.0050	0.0022	—	—	—	—	本発明例
9	0.55	0.02	0.65	0.012	0.025	0.02	0.21	0.02	0.02	0.0045	0.0018	0.20	0.20	—	—	本発明例
10	0.45	0.03	0.73	0.008	0.021	0.04	0.26	0.02	0.02	0.0051	0.0023	—	—	0.15	0.030	本発明例
11	0.39	0.04	1.26	0.014	0.018	0.03	0.31	0.02	0.02	0.0053	0.0026	0.25	0.45	0.05	0.010	本発明例
12	0.38	0.03	0.89	0.009	0.024	0.04	0.01	0.02	0.02	0.0045	0.0022	—	—	—	—	比較例
13	0.41	0.03	0.96	0.013	0.021	0.030	0.10	0.02	0.02	0.0053	0.0023	—	—	—	—	比較例
14	0.40	0.03	1.03	0.011	0.019	0.04	0.04	0.02	0.02	0.0059	0.0024	—	—	—	—	比較例
15	0.30	0.03	1.00	0.010	0.025	0.04	0.10	0.02	0.02	0.0061	0.0021	—	—	—	—	比較例
16	0.39	0.11	1.03	0.011	0.023	0.04	0.11	0.02	0.02	0.0058	0.0018	—	—	—	—	比較例
17	0.70	0.03	1.00	0.010	0.025	0.04	0.10	0.02	0.02	0.0042	0.0018	—	—	—	—	比較例
18	0.40	0.04	0.60	0.012	0.024	0.04	0.18	0.02	0.02	0.0045	0.0019	—	—	—	—	従来例
19	0.40	0.03	1.00	0.010	0.025	0.04	0.60	0.02	0.02	0.0056	0.0022	—	—	—	—	比較例

【0033】

※ ※ 【表2】

11

12

鋼 No	Ms値	組 織	特 性			備 考
			工具寿命 (mm)	ねじり強度 (MPa)	焼割れ 発生個数	
1	376	20	F+P+B	2900	1600	17 本発明例
2	366	18	F+P+B	2800	1620	19 本発明例
3	374	23	F+P+B	2900	1600	16 本発明例
4	371	21	F+P+B	2800	1580	17 本発明例
5	347	15	F+P+B	2600	1570	27 本発明例
6	343	15	F+P+B	2700	1650	28 本発明例
7	353	20	F+P+B	2900	1600	28 本発明例
8	365	29	F+P+B	3300	1640	19 本発明例
9	338	7	F+P+B	2490	1680	29 本発明例
10	367	21	F+P+B	2800	1620	18 本発明例
11	368	24	F+P+B	3100	1590	17 本発明例
12	387	0	F+P	1300	1460	16 比較例
13	367	0	F+P	1400	1330	19 比較例
14	368	0	F+P	1600	1640	18 比較例
15	407	10	F+P+B	6200	1200	5 比較例
16	377	21	F+P+B	1700	1580	16 比較例
17	281	3	F+P	800	1660	95 比較例
18	388	4	F+P+B	1700	1330	15 従来例
19	370	40	F+P+B	1600	1640	22 比較例

F: フェライト, P: パーライト, B: ベイナイト。

【0034】(1) 被削性試験

この直棒から被削性試験片を採取した。被削性試験は、SKH4、4mmφのドリルを用いて、1500rpmの条件で12mm長さの穿孔を行い、切削不能になるまでの総穴明け長さ(mm)を工具寿命として求め評価した。

(2) ねじり強さ試験

直棒から平行部20mmφの平滑丸棒ねじり試験片を作製し、これに周波数15kHzの高周波焼入れ装置を用いて焼入れし、170°C×30分の焼もどし処理を施しねじり試験を行った。高周波焼入れ焼もどし後の焼入れ深さは4mmとした。ねじり試験は、500kgf·mのねじり試験機を用いて、最大ねじり剪断強度を求めねじり強度とした。

【0035】(3) 焼割れ性試験

耐焼割れ性は、上記の25mmφの直棒から、表面に軸方向のV字溝を付けた丸棒(20mmφ)を加工し、(2)と同様の高周波焼入れを行った後に、丸棒のC断面10箇所を研磨観察し、その割れの発生個数で評価した。鋼1~11は本発明例である。比較例の鋼12~19に比べ、ベイナイト相の比率が本発明範囲内となることにより被削性が高いことがわかる。本発明範囲でもMs値が360*

*以上の鋼は、焼割れの発生個数も20以下と耐焼割れ性が改善されている。比較例の鋼17は本発明範囲に比べC量が高く、ねじり強度の改善が著しくなく、しかも耐焼割れ性が劣化し、被削性も低下している。C量が低い比較例、鋼15は、ねじり強度が著しく低下している。Si量が高い鋼16は、ベイナイト相の比率には変化ないものの、被削性が低下している。Mo量が少ない鋼14は、被削性が低下している。

【0036】(実施例2)表3に示す化学組成の鋼を、転炉で溶製し、560×400mmのブルームにした後、熱間圧延により25mmφの丸棒とした。熱間圧延終了後、加速冷却を行い素材とした。これらの素材を用い、実施例1と同様の試験を実施し、その結果を表4に示す。

【0037】この結果から、本発明範囲とすることで、被削性、ねじり強度、耐焼割れ性も優れている。圧延後の冷却条件によってベイナイト相比率が変化するが、本発明範囲外のベイナイト量では被削性が劣る。

【0038】

【表3】

13

14

鋼No.	化 学 組 成 (mass%)											圧延後冷却速度 (°C/sec.)
	C	S i	M n	P	S	C r	M o	A l	T i	N	B	
A	0.42	0.04	1.15	0.015	0.022	0.03	0.24	0.02	0.02	0.0052	0.0021	0.8
B	0.39	0.03	0.82	0.018	0.023	0.02	0.35	0.02	0.02	0.0045	0.0023	0.6
C	0.38	0.04	1.0	0.018	0.023	0.05	0.01	0.02	0.02	0.0043	0.0022	2.0
D-1	0.45	0.04	0.85	0.018	0.025	0.04	0.31	0.02	0.02	0.0041	0.0025	1.1
D-2												3.4
E	0.41	0.02	1.0	0.014	0.023	0.04	0.04	0.02	0.02	0.0046	0.0023	1.9

【0039】

* * 【表4】

鋼No.	M s 値	組 織		特 性			備 考
		イナイト相 比率(%)		工具寿命 (mm)	ねじり強度 (MPa)	焼割れ 発生個数	
A	364	29	F+P+B	3300	1650	19	本発明例
B	381	30	F+P+B	3500	1620	15	本発明例
C	383	0	F+P	1250	1460	16	比較例
D-1	362	28	F+P+B	3340	1610	19	本発明例
D-2	362	49	F+P+B	1420	1620	19	比較例
E	373	3	F+P+B	1300	1430	17	比較例

F: フェライト, P: パーライト, B: ベイナイト

【0040】

※時に兼ね備えた鋼材が得られ、産業上の利用価値は大で

【発明の効果】本発明によれば、高周波焼入れ焼もどし ある。
後のねじり強度も高く、しかも被削性と耐焼割れ性を同※

フロントページの続き

(72)発明者 星野 俊幸
千葉県千葉市中央区川崎町1番地 川崎製
鉄株式会社技術研究所内

(72)発明者 大森 靖浩
千葉県千葉市中央区川崎町1番地 川崎製
鉄株式会社技術研究所内

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09111401
PUBLICATION DATE : 28-04-97

APPLICATION DATE : 17-10-95
APPLICATION NUMBER : 07268657

APPLICANT : KAWASAKI STEEL CORP;

INVENTOR : OMORI YASUHIRO;

INT.CL. : C22C 38/00 C21D 8/00 C22C 38/32 C22C 38/54 C22C 38/58

TITLE : STEEL FOR MACHINE STRUCTURAL USE, EXCELLENT IN MACHINABILITY AND QUENCHING CRACK RESISTANCE, AND ITS PRODUCTION

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a steel for machine structure use, having high torsional strength after induction hardening and tempering and excellent in machinability and quenching crack resistance, by specifying a chemical composition and the structure of a core part, respectively.

SOLUTION: This steel for machine structural use has a composition consisting of, by mass, 0.35-0.60% C, ≤0.05% Si, 0.65-1.70% Mn, ≤0.020% P, 0.005-0.035% S, ≤0.15% Cr, 0.05-0.50% Mo, 0.01-0.05% Ti, 0.01-0.05% Al, ≤0.01% N, 0.0005-0.0050% B, and the balance Fe and also has a structure containing bainitic phase by 5-30% by area ratio, and further, the above torsional strength is regulated to ≥1400MPa in this steel. The quenching crack resistance of this steel can be improved to a greater extent by regulating the Ms value, defined by equation,
$$Ms=538-317(\%C)-33(\%Mn)-28(\%Cr)-17(\%Ni)-11(\%Si)-11(\%Mo), \text{ to } \geq 360.$$
 Moreover, one or more kinds among ≤1.0% Cu, ≤3.5% Ni, 0.01-0.30% V, and 0.005-0.050% Nb can be further incorporated into the steel.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

PAT-NO: JP409111401A
**DOCUMENT-
IDENTIFIER:** JP 09111401 A
TITLE: STEEL FOR MACHINE STRUCTURAL USE, EXCELLENT IN MACHINABILITY AND QUENCHING CRACK RESISTANCE, AND ITS PRODUCTION
PUBN-DATE: April 28, 1997

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MATSUZAKI, AKIHIRO	
KAWASAKI, MITSUZANE	
HOSHINO, TOSHIYUKI	
OMORI, YASUHIRO	

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
KAWASAKI STEEL CORP	N/A

APPL-NO: JP07268657

APPL-DATE: October 17, 1995

**INT-CL
(IPC):** C22C038/00 , C21D008/00 , C22C038/32 , C22C038/54 ,
C22C038/58

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a steel for machine structure use, having high torsional strength after induction hardening and tempering and excellent in machinability and quenching crack resistance, by specifying a chemical composition and the structure of a core part, respectively.

SOLUTION: This steel for machine structural use has a composition consisting of, by mass, 0.35-0.60% C, ≤0.05% Si, 0.65-1.70% Mn, ≤0.020% P, 0.005-0.035% S, ≤0.15% Cr, 0.05-0.50% Mo, 0.01-0.05% Ti,

0.01-0.05% Al, ≤0.01% N, 0.0005-0.0050% B, and the balance Fe and also has a structure containing bainitic phase by 5-30% by area ratio, and further, the above torsional strength is regulated to ≥1400MPa in this steel. The quenching crack resistance of this steel can be improved to a greater extent by regulating the Ms value, defined by equation, $Ms=538-317(\%C)-33(\%Mn)-28(\%Cr)-17(\%Ni)-11(\%Si)-11(\%Mo)$, to ≥360. Moreover, one or more kinds among ≤1.0% Cu, ≤3.5% Ni, 0.01-0.30% V, and 0.005-0.050% Nb can be further incorporated into the steel.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO